

HABITAT USE BY THE “ESCAMOLERA” ANT (*Liometopum apiculatum* Mayr) IN CENTRAL MEXICO

USO DE HABITAT POR LA HORMIGA ESCAMOLERA (*Liometopum apiculatum* Mayr) EN EL CENTRO DE MÉXICO

J. D. Cruz-Labana¹, L. A. Tarango-Arámbula^{2*}, J. L. Alcántara-Carbajal¹,
J. Pimentel-López², S. Ugalde-Lezama³, G. Ramírez-Valverde⁴, S. J. Méndez-Gallegos²

¹Ganadería, ⁴Estadística. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (ltarango@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. 78620. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. ³Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México.

ABSTRACT

In rural areas of Mexico, the native “escamolera” ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) is socioeconomically important. However, this ant is being exploited unsustainably, and studies of habitat of this species in central Mexico are nonexistent. During spring-summer 2012, fourteen habitat variables were evaluated, habitat use by the ant was identified and its nest density was estimated. Data were analyzed with stepwise logistic regression, correspondence analysis, Chi-square and simultaneous Bonferroni confidence intervals analyses, and the minimum Akaike Information Criteria. The variables that better described the presence of the ant were width of the agave pineapple, percentage of agaves infested with scale insects, woody plant-cacti-agave density, soil cover and terrain slope. The probability of finding nests increased (odds ratio > 1) when the width of the agave pineapple and the percentage of agaves with scale insects increased. In contrast, the probability decreased (odds ratio < 1) when the slope of the terrain and bare soil increased. The ant selected ($p \leq 0.05$) flat terrain (0-10 % slope) and southwest-facing slopes, but avoided microphyllous shrub habitats, moderately flat terrain (1-20 % slope), southeast-facing slopes and terrain of the lowest available elevation (1940-2050 m). Soil cover at nests sites was composed of grasses (27.5 %), bare soil (24.5 %), rock (20.2 %), herbs (20.2 %) and shrubs (7.6 %). The nest density was higher ($\alpha=0.05$) in the moderate level of disturbance (11.9 nests ha⁻¹). The ant did not use habitat components according to their availability, avoided bare soil, land with low elevation and selected the slopes with southwest exposure.

RESUMEN

En las zonas rurales de México, la hormiga nativa “escamolera” (*Liometopum apiculatum* Mayr) tiene importancia socioeconómica. Sin embargo, esta hormiga es explotada de manera no sustentable y no existen estudios del hábitat de esta especie en el centro de México. Durante la primavera-verano de 2012, se evaluaron catorce variables del hábitat, se identificó el uso del hábitat por la hormiga y se estimó su densidad de nidos. Los datos se analizaron con regresión logística por pasos (*stepwise*), análisis de correspondencia, Ji cuadrada y análisis simultáneos de intervalos de confianza Bonferroni, así como el Criterio de Información Akaike mínimo. Las variables que describen mejor la presencia de la hormiga fueron ancho de la piña del agave, porcentaje de agaves infestados con insectos escama, densidad de plantas leñosas-cactus-agaves, cobertura del suelo y pendiente del terreno. La probabilidad de encontrar nidos se incrementó (tasa de probabilidad > 1) cuando aumentaron el ancho de la piña del agave y el porcentaje de agaves con insectos escama. En contraste, la probabilidad disminuyó (relación de probabilidad < 1) cuando la pendiente del terreno y el suelo desnudo aumentaron. Las hormigas seleccionaron ($p \leq 0.05$) terrenos planos (0-10 % de pendiente) y pendientes hacia el suroeste, pero evitaron los hábitats de matorral micrófilo, terrenos moderadamente planos (1-20 % de pendiente), pendientes hacia el sureste y terrenos con la menor elevación disponible (1940-2050 m). La cobertura de suelo en los sitios de nido estuvo compuesta de pastos (27.5 %), suelo desnudo (24.5 %), roca (20.2 %), hierbas (20.2 %) y matorrales (7.6 %). La densidad de nidos fue mayor ($\alpha=0.05$) en el nivel moderado de perturbación (11.9 nidos ha⁻¹). Las hormigas no usaron los componentes del hábitat con base en su disponibilidad, evitaron el suelo desnudo y los terrenos con baja elevación, y eligieron las pendientes con exposición hacia el suroeste.

* Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: January, 2014. Approved: July, 2014.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 48: 569-582. 2014.

Key words: *Liometopum apiculatum* Mayr, agave, arid areas, insects use, management.

INTRODUCTION

Arid and semi-arid regions contain valuable natural resources that, if well managed, may derive in diverse long-term economic benefits. Ants are important components of these regions, they constitute a significant portion of the animal biomass and act as ecosystem engineers (Folgarait, 1998). Ants are able to modify environmental conditions to create appropriate microhabitats (Hithford *et al.*, 2008) by increasing fertility and quality of the soil (Amador and Gorres, 2007). Moreover, they can be used as indicators of ecosystem changes and for rehabilitating logging and grazing areas (Andersen and Majer, 2004).

An economic, ecological and nutritionally important species in semiarid areas of southern Chihuahuan Desert in South-Central Mexico, is the escamolera ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) (Velasco *et al.*, 2007; Ambrosio-Arzate *et al.*, 2010). Its larvae, known as escamoles (immature stages of the reproductive caste) (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013), are extracted from nests at the beginning of the spring and sold for human consumption. The word “escamol” derives from the Nahuatl language word “azcatmolli” which means ant (=azcatl) stew (molli) (Ramos *et al.*, 2013). Escamoles are considered a delicacy and regional prices range between US \$ 40 and US \$ 50 kg⁻¹. Ramos-Elorduy *et al.* (2006) indicate that the price can reach up to US \$ 200 dollars. Escamoles have a protein content of 39.7 mg 100 g⁻¹ (Ramos-Elorduy and Pino, 2001).

Escamoles are a viable resource in arid regions because its extraction does not require any economic input and they have an extensive distribution. This species ranges from Southwestern United States and northwestern to southeastern Mexico where, it is found in fifteen states from Chihuahua to Quintana Roo (Del Toro *et al.*, 2009). In Mexico, the escamolera ant is exploited in the states of Michoacan, Colima, Chihuahua, Durango, Hidalgo, Queretaro and the Distrito Federal (Del Toro *et al.*, 2009).

However, economically important native insects such as the escamolera ant, the agave red worm (*Comadia redtenbacheri* Hamm) and the agave white worm (*Acentrocne hesperiaris* W.) are exploited unsustainably (De Luna-Valadez *et al.*, 2013).

Palabras clave: *Liometopum apiculatum* Mayr, agave, zonas áridas, uso de insectos, manejo.

INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas tienen recursos naturales valiosos que, si se manejan correctamente, pueden derivar en diversos beneficios económicos a largo plazo. Las hormigas son componentes importantes de estas regiones, ya que constituyen una porción significativa de la biomasa animal y actúan como ingenieros del ecosistema (Folgarait, 1998). Las hormigas pueden modificar las condiciones ambientales para crear micro hábitats apropiados (Hithford *et al.*, 2008), al incrementar la fertilidad y la calidad del suelo (Amador y Gorres, 2007). Además, pueden utilizarse como indicadores de cambios en el ecosistema y para rehabilitar áreas de tala y pastoreo (Andersen y Majer, 2004).

La hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) es una especie importante económica, ecológica y nutricionalmente en áreas semiáridas del sur del Desierto de Chihuahua en el sur-centro de México (Velasco *et al.*, 2007; Ambrosio-Arzate *et al.*, 2010). Sus larvas, conocidas como escamoles (etapas inmaduras de la casta reproductiva) (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013), se extraen de los nidos al principio de la primavera y se venden para consumo humano. La palabra “escamol” se deriva del náhuatl, de la palabra “azcatmolli”, que significa guiso (molli) de hormiga (=azcatl) (Ramos *et al.*, 2013). Los escamoles se consideran una exquisitez y los precios regionales van de US \$ 40 a US \$ 50 kg⁻¹. Ramos-Elorduy *et al.* (2006) mencionan que el precio puede llegar a US \$ 200. Los escamoles tienen un contenido de proteína de 39.7 mg 100 g⁻¹ (Ramos-Elorduy y Pino, 2001).

Los escamoles son un recurso viable en regiones áridas porque su extracción no requiere ningún insumo económico y tienen una distribución amplia. Esta especie abarca desde el suroeste de EE.UU. y del noroeste hasta el sureste de México, donde se encuentra en quince estados desde Chihuahua hasta Quintana Roo (Del Toro *et al.*, 2009). En México, la hormiga escamolera es explotada en los estados de Michoacán, Colima, Chihuahua, Durango, Hidalgo, Querétaro y el Distrito Federal (Del Toro *et al.*, 2009).

Sin embargo, los insectos nativos de importancia económica como la hormiga escamolera, el gusano rojo del agave (*Comadia redtenbacheri* Hamm) y el gusano blanco del agave (*Acentrocne hesperiaris*

Mismanaged land use and recurring droughts have resulted in habitat loss and fragmentation for these species. Particularly, in semiarid ecosystems of central Mexico, this ant has undergone an over-harvesting by rural communities, which decimates its populations by nest destruction (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006; Ambrosio-Arzate *et al.*, 2010; Dinwiddie *et al.*, 2013). This is the case for the state of San Luis Potosí where collectors of escamoles not only destroy nests each spring but open them twice a year (March and April). Its mismanagement is due to a lack of management-oriented research (Tarango-Arámbula, 2012), scant knowledge about the ecological role of the ant, and absence of legal environmental guidelines (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006), necessary for sustainable management practices.

Habitat fragmentation of the soil biota and its effects on the density of the micro-invertebrates are poorly documented (Chust *et al.*, 2003a, b). In Mexico, there is only one study that addresses the association of the escamolera ant with the agave in the state of Zacatecas (Esparza-Frausto *et al.*, 2008), but fundamental aspects of its biology and ecology are still unknown.

Given the importance of insects as components of desert ecosystems (Hithford *et al.*, 2008), and in particular the use of the escamolera ant larvae and the economic benefits for the Mexican rural sector, it is indispensable to determine ant habitat components. Therefore, the objectives of this study were: 1) to identify the habitat components that better explain the presence of the ant in the ejido Pocitos, municipality of Charcas, San Luis Potosí; 2) to determine whether ant uses vegetation types, slope, elevation and aspect, according to their availability; and 3) to estimate the density of ant nests (*Liometopum apiculatum* Mayr) in areas representatives of three levels of ecosystem disturbance.

MATERIALS AND METHODS

Description of the study area

The study area is located in the southern region of the Chihuahuan Desert (Giménez and González, 2011). This research was conducted during spring and summer 2012 in the ejido Pocitos, municipality of Charcas, San Luis Potosí. This ejido (a Mexican system of cooperative land tenure) is located 22 km northeast of the town of Charcas, between 23° 06' 32" and 23° 13' 04" N and 100° 54' 03" and 101° 01' 02" W, at

W.) son explotados de manera no sustentable (De Luna-Valadez *et al.*, 2013). El mal manejo de la tierra con y las sequías recurrentes han resultado en la pérdida y fragmentación del hábitat para estas especies. En particular en ecosistemas semiáridos del centro de México, esta hormiga ha sufrido una extracción excesiva por las comunidades rurales, lo cual diezma sus poblaciones por destrucción del nido (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006; Ambrosio-Arzate *et al.*, 2010; Dinwiddie *et al.*, 2013). Este es el caso del estado de San Luis Potosí, donde los recolectores de escamoles no sólo destruyen los nidos cada primavera, sino que los abren dos veces al año (marzo y abril). Su mal manejo se debe a una falta de investigación dirigida al manejo (Tarango-Arámbula, 2012), poco conocimiento acerca de la función ecológica de la hormiga, y la ausencia de lineamientos ambientales legales (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006), necesarios para las prácticas sostenibles de manejo.

La fragmentación del hábitat de la biota del suelo y sus efectos en el destino de los micro-invertebrados no están bien documentados (Chust *et al.*, 2003a, b). En México, sólo hay un estudio que aborda la asociación de la hormiga escamolera con el agave en el estado de Zacatecas (Esparza-Frausto *et al.*, 2008), pero los aspectos fundamentales de su biología y ecología todavía no se conocen.

Dada la importancia de los insectos como componentes de ecosistemas desérticos (Hithford *et al.*, 2008), y en particular el uso de las larvas de la hormiga escamolera y los beneficios económicos para el sector rural mexicano, es indispensable determinar los componentes del hábitat de las hormigas. Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron: 1) identificar los componentes del hábitat que mejor explican la presencia de la hormiga en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí; 2) determinar si las hormigas utilizan tipos de vegetación, pendiente, elevación y dirección de la pendiente, de acuerdo con su disponibilidad; y 3) estimar la densidad de nidos de hormiga (*Liometopum apiculatum* Mayr) en zonas representativas de tres niveles de perturbación del ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El área de estudio está localizada en la región sur del Desierto Chihuahuense (Giménez y González, 2011). Esta investigación

an elevation between 1979 and 2505 m and covers an area of 6422 ha.

The climate in the area is semidry temperate BS₀kw (x') with rainfall occurring from June to September. Average annual temperature and precipitation range from 12-18 °C and 300-400 mm, respectively. Main vegetation types are microphyllous, crassicaule (cacti) and rosette-like shrubland (Rzedowski, 1965; 1978), and zacatal (tall grasses). In the higher elevations of the ejido there are oak forests (*Quercus hintoniorum*, *Q. greggii*, *Q. mexicana*, *Q. pringlei* and *Q. laeta*) (Giménez and González, 2011), and open areas with scattered junipers (*Juniperus* spp.) (González *et al.*, 2007).

Ant presence and habitat use

To determine the habitat components that better explain the presence of the escamolera ant in the study area, we compared information of variables described in Table 1, collected at 54 ant nests and at 162 random plots within the study area. We used circular plots to sample habitats (Schreuder *et al.*, 1993). To locate the evaluation plots at ant nests, we considered the nests as the center of plots, while the center of random plots were their own coordinates. To identify and select the random plots, we utilized Arc Map 9.3, and the (spatial) Hawth's Analysis Tools (Beyer, 2004).

The quantified variables and methods of their assessment are described in Table 1. Also, woody plants and cacti (*Opuntia* spp.) (ant foraging substrates), mesquite (*Prosopis* spp.), yuccas (*Yucca carnerosana* and *Y. filifera*), acacias (*Acacia* spp.), junipers (*Juniperus* spp.) and agaves infested with scale insects (Hemiptera), were counted within the plots to estimate their density and percentage of infestation.

se realizó durante la primavera y el verano de 2012 en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí. Este ejido (sistema mexicano de posesión comunal de la tierra) se ubica a 22 km al noreste de la comunidad de Charcas, entre 23° 06' 32" y 23° 13' 04" N y 100° 54' 03" " y 101° 01' 02" O, a una altitud entre 1979 y 2505 m, y cubre un área de 6422 ha.

El clima en el área es templado semiseco BS₀kw (x') con lluvia de junio a septiembre. La temperatura anual promedio y la precipitación oscilan entre 12-18 °C y 300-400 mm, respectivamente. Los principales tipos de vegetación son micrófilo, crasicaule (cactus) y matorral rosetófilo (Rzedowski, 1965; 1978), así como zacatal (pastos altos). En las mayores altitudes del ejido hay bosques de robles (*Quercus hintoniorum*, *Q. greggii*, *Q. mexicana*, *Q. pringlei* y *Q. laeta*) (Giménez y González, 2011), y áreas abiertas con táscates (*Juniperus* spp.) dispersos (González *et al.*, 2007).

Presencia de hormigas y uso del hábitat

Para determinar los componentes del hábitat que mejor explican la presencia de la hormiga escamolera en el área de estudio, se comparó la información de variables descritas en el Cuadro 1 y ésta se recolectó en 54 nidos de hormigas y en 162 parcelas aleatorias dentro del área de estudio. Para muestrear los hábitats se usaron parcelas circulares (Schreuder *et al.*, 1993). Para localizar las parcelas de evaluación en nidos de hormigas se consideraron los nidos como el centro de las parcelas, mientras que el centro de las parcelas aleatorias fueron sus propias coordenadas. Para identificar y seleccionar las parcelas aleatorias se utilizó Arc Map 9.3 y las Herramientas de Análisis (espacial) de Hawth (Beyer, 2004).

Las variables cuantificadas y los métodos de su evaluación se describen en el Cuadro 1. Además, se contaron las plantas leñosas y cactus (*Opuntia* spp.) (sustratos donde las hormigas forrajejan),

Table 1. Ant habitat variables evaluated at ant nests and at random plots in the ejido Pocitos, municipality of Charcas, San Luis Potosí, Mexico.

Cuadro 1. Variables del hábitat de la hormiga evaluadas en nidos de hormigas y en parcelas aleatorias en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Variable	Method of evaluation
Slope (%)	Sunto clinometer®
Aspect (Degrees)	Brunton compass®
Elevation (m)	Garmin 60CSx GPS
Agave height (m)	Direct measurement with metric tape
Agave stalk width (m)	
Number of agaves, agaves infested with scale insects, and number of woody plants and cacti (mesquites, yuccas, acacias, junipers and cacti)	Counts in circular plots of 20 m in circular plots of 20 m in diameter
Soil cover (%). Herbs, grass, shrub, rock and bare soil	Canfield lines (Canfield, 1941) in circular plots of 20 m in diameter

To determine the habitat components that most explain the presence of the ant, a stepwise logistic regression model was used ($p \leq 0.05$) with JMP 7.0 software (SAS Institute, 2007; Guisan and Zimmermann, 2000; Dos Santos and Mora, 2007) as well as an analysis of correspondence.

Chi-square analysis was used to determine if vegetation type, categories of slope, aspect and elevation were selected (i.e., used more in proportion to availability), or avoided (i.e., used less than proportion to availability) by the ant. To assess habitat use, for the entire study area, the availability (size of the area in ha) of each of the categories of those habitat variables (Table 2) were quantified using Arc Map 9.3 and topographic maps at a scale of 1:50000 (SAGARPA, 2012). If a statistical difference ($p \leq 0.05$) was detected between use (number of nests in each category) and availability (size of the area) of these components (Neu *et al.*, 1974), simultaneous Bonferroni confidence intervals were used to determine habitat preferences (Byers *et al.*, 1984).

Density of ant nests

Insects has been considered bioindicators of anthropogenic disturbance, they have been recognized as important indicators of ecosystem quality due to their rapid response to environmental variability (Otavo *et al.*, 2013). The density of ant nests was estimated at three levels of ecosystem disturbance within the study area: A (slightly disturbed), B (moderately disturbed) and C (highly disturbed).

The A category encompassed an area grazed by cattle and goats; this site presented between 15 and 20 % of bare soil. The most common plant species were junipers (*Juniperus* spp.), agave (*Agave salmiana*), prickly pear (*Opuntia* spp.) biznaga (*Echinocactus platyacanthus*), yuccas (*Yucca filifera* and *Y. carnerosana*), mesquite (*Prosopis* spp.), acacias (*Acacia* spp.), and grasses, among others (Figure 1A).

The B category was characterized by the presence of lechugilla (*Agave lechuguilla*), relict juniper and agaves; this area was intensively grazed, eroded and percentage of bare soil was between 20 and 30 % (Figure 1B). The level C area

mezquite (*Prosopis* spp.), yucas (*Yucca carnerosana* y *Y. filifera*), huizaches (*Acacia* spp.), táscates (*Juniperus* spp.) y agaves infestados con insectos escama (Hemíptera) dentro de las parcelas, para estimar su densidad y porcentaje de infestación.

Para determinar los componentes del hábitat que mejor explican la presencia de la hormiga, se usó un modelo de regresión logística por pasos (*stepwise*) ($p \leq 0.05$) con el programa JMP 7.0 (SAS Institute, 2007; Guisan y Zimmermann, 2000; Dos Santos y Mora, 2007), así como un análisis de correspondencia.

Un análisis de Ji cuadrada se usó para determinar si el tipo de vegetación, las categorías de la pendiente, la dirección de la pendiente y la altitud fueron seleccionadas (es decir, usados más en proporción a la disponibilidad), o evitados (es decir, usados menos en proporción a la disponibilidad) por la hormiga. Para evaluar el uso del hábitat, para toda el área de estudio se cuantificó la disponibilidad (tamaño del área en ha) de cada una de las categorías de esas variables del hábitat (Cuadro 2) usando Arc Map 9.3 y mapas topográficos a una escala de 1:50000 (SAGARPA, 2012). Al detectar alguna diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre el uso (número de nidos en cada categoría) y la disponibilidad (tamaño del área) de estos componentes (Neu *et al.*, 1974), se usaron intervalos de confianza simultáneos de Bonferroni para determinar las preferencias de hábitat (Byers *et al.*, 1984).

Densidad de los nidos de hormigas

Los insectos son considerados bioindicadores de perturbación antropogénica y son indicadores importantes de la calidad del ecosistema debido a su rápida respuesta a la variabilidad ambiental (Otavo *et al.*, 2013). La densidad de los nidos de hormigas se estimó a tres niveles de perturbación del ecosistema dentro del área de estudio: A (poco perturbado), B (moderadamente perturbado) y C (muy perturbado).

La categoría A abarcó un área pastoreada por bovinos y caprinos; mostró 15 a 20 % de suelo desnudo. Las especies vegetales más comunes fueron táscates (*Juniperus* spp.), agave (*Agave salmiana*), nopal (*Opuntia* spp.) biznaga (*Echinocactus platyacanthus*), yucas (*Yucca filifera* y *Y. carnerosana*), mezquite (*Prosopis* spp.), huizaches (*Acacia* spp.) y pastos, entre otros (Figure 1A).

Table 2. Habitat variables and their categories used in the analyses of use/availability for the escamolera ant in the ejido Pocitos in the municipality of Charcas, San Luis Potosi, Mexico.

Cuadro 2. Variables del hábitat y sus categorías usadas en los análisis de uso/disponibilidad para la hormiga escamolera en el Ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Variable	Category
Type of vegetation	Rosetophyllous shrub land, microphyllous shrub land and crasicaule shrub land
Slope (%)	Flat (0-10), moderately flat (11-20), middle (21-30) and steep (≥ 30)
Aspect	Northeast (0-90), southeast (91-180), southwest (181-270) and northwest (271-360)
Elevation (masl)	Very low (1940-2050), low (2051-2160), middle (2161-2270), and high (> 2270)



Figure 1. Disturbance levels of the ecosystem: A (slightly disturbed), B (moderately disturbed) and C (highly disturbed) where density of ant nests was estimated at ejido Pocitos, municipality of Charcas, San Luis Potosí, Mexico.

Figura 1. Niveles de perturbación del ecosistema: A (poco perturbado), B (moderadamente perturbado) y C (muy perturbado) donde la densidad de nidos de hormigas se estimó en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

with moderate grazing, had poor vegetation cover (bare soil percentage above 30 %) compared with the levels A and B, and was characterized by the presence of yuccas (*Yucca carnerosana*, *Y. filifera*) and sparsely scattered native agaves (Figure 1C).

Nest density was estimated using 200-m-long and 100-m-wide transects (50 m to the left and 50 m to the right of the center line; 20000 m²). Three transects were randomly distributed in each level of disturbance. The perpendicular distances from nests to the centerline of transects were measured and recorded. The density of nests was estimated with the Distance 6.0 program selecting the best model with minimum Akaike Information Criteria (Buckland *et al.*, 1993).

RESULTS AND DISCUSSION

The variables that better explained ($p \leq 0.05$) the presence of ant nests were the width of the agave stalk, number of agaves with scale insects, woody plants-cacti-agave density, ground cover (bare soil) and slope (Table 3). The probability of finding ant nests in the study area increased according to the value of odds ratio (> 1) of the habitat variable. Thus, the odds of finding ant nests in the study area increased with the presence of greater agave stalks, at sites with a higher component of agaves with scales and at areas with greater density of woody plants, cacti and agave. In contrast, the probability of finding ant nests decreased with increments in slope of the terrain and bare soil (Table 3).

The logistic regression analysis identified density of woody plants and cacti as an important component (odds ratio = 1.005). More specifically the correspondence analysis identified that the presence of mesquites, yuccas, acacias and agaves infested with scale insects explain the occurrence of the escamolera ant in the study area (Figure 2, Table 4, 5).

La categoría B se caracterizó por la presencia de lechuguilla (*Agave lechuguilla*), táscates y relictos de agaves; estaba pastada intensamente, erosionada y el porcentaje de suelo desnudo fue 20 a 30 % (Figura 1B). El área de nivel C con pastoreo moderado tenía poca cobertura de vegetación (suelo desnudo mayor a 30 %), comparado con los niveles A y B, y se caracterizó por la presencia de yucas (*Yucca carnerosana*, *Y. filifera*) y agaves nativos escasos y dispersos (Figura 1C).

La densidad de nidos se estimó utilizando transectos de 200 m de largo y 100 m de ancho (50 m la izquierda y 50 m la derecha de la línea central; 20000 m²). Tres transectos se distribuyeron aleatoriamente en cada nivel de perturbación. Las distancias perpendiculares desde los nidos hasta la línea central de los transectos se midieron y registraron. La densidad de los nidos se estimó con el programa Distance 6.0 seleccionando el mejor modelo con el Criterio de Información Akaike mínimo (Buckland *et al.*, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables que explicaron mejor ($p \leq 0.05$) la presencia de nidos de hormigas fueron el ancho de los tallos de agave, el número de agaves con insectos escama, la densidad de plantas leñosas-cactus-agave, la cobertura del suelo (suelo desnudo) y la pendiente (Cuadro 3). La probabilidad de encontrar nidos de hormiga en el área de estudio se incrementó de acuerdo con el valor de la relación de probabilidades (> 1) de la variable del hábitat. Por ende, la probabilidad de encontrar nidos de hormiga en el área de estudio aumentó con la presencia de más tallos de agave, en sitios con un componente mayor de agaves con insectos escama y en áreas con mayor densidad de plantas leñosas, cactus y agave. En contraste, la probabilidad de encontrar nidos de hormiga disminuyó con

Table 3. Logistic regression results comparing data from ant nest and random plots at ejido Pocitos in the municipality of Charcas, San Luis Potosí, Mexico.

Cuadro 3. Resultados de la regresión logística comparando datos de nidos de hormigas y parcelas aleatorias en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Variable	Odds ratio [†]	Lower CI	Upper CL	P value
Agave density	1.002	1.001	1.003	0.005
Slope	0.837	0.717	0.994	0.013
Bare soil	0.915	0.862	0.962	0.001
Agave stalk width	166.67	2.653	11627.906	0.018
Agaves infested with scale insects <i>Acutaspis</i> sp (%)	1.028	1.011	1.048	0.002
Density of woody plants and cacti [‡]	1.005	1.001	1.009	0.026

[†]Odds ratio > 1 indicates that the probability of finding a nest increases with the values of the variable, and an odds ratio < 1 indicates the opposite ♦ Una relación de probabilidades > 1 indica que la probabilidad de encontrar un nido aumenta con los valores de la variable y una relación < 1 indica lo opuesto.

[‡]Mesquite, yuccas, acacias, junipers and prickly pear cactus ♦ Mezquite, yucas, huizaches, táscates y nopal.

The ant did not use the habitat components according to their availability. There were significant differences in the observed and expected frequencies for the variables vegetation type, slope of the terrain, aspect and elevation (Table 6). The Bonferroni confidence intervals (Byers *et al.*, 1984) indicated that the ant showed a preference for ($p \leq 0.05$) flat terrain and southwest-facing slopes. By contrast, it tended to avoid ($p \leq 0.05$) microphyllous shrub land, moderately flat terrain, southeast-facing slopes, and very low terrain (Table 6). The other habitat components (rosetophyllous and crasicaule

incrementos en la pendiente del terreno y en suelo desnudo (Cuadro 3).

El análisis de regresión logística identificó la densidad de plantas leñosas y cactus como un componente importante (tasa de probabilidad = 1.005). Más específicamente, el análisis de correspondencia identificó que la presencia de mezquites, yucas, huizaches y agaves infestados con insectos escama explican la ocurrencia de la hormiga escamolera en el área de estudio (Figura 2, Cuadro 4, 5).

La hormiga no usó los componentes del hábitat de acuerdo con su disponibilidad. Hubo diferencias

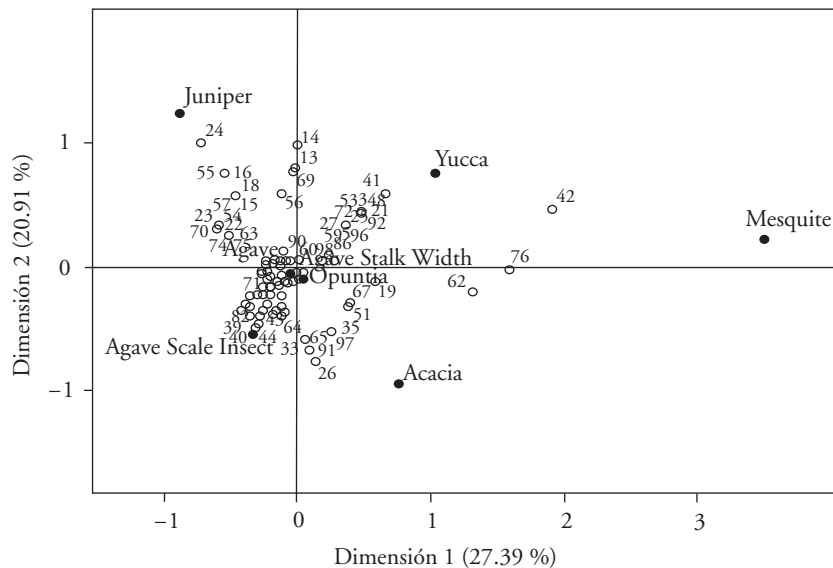


Figure 2. Correspondence analysis between the presence of the escamolera ant, and woody plants and cacti in the study area.

Figura 2. Análisis de correspondencia entre la presencia de la hormiga escamolera y plantas leñosas y cactus en el área de estudio.

Table 4. Results from the correspondence analysis for the presence of the escamolera ant, and woody plants and cacti in the study area.**Cuadro 4. Resultados del análisis de correspondencia para la presencia de la hormiga escamolera y plantas leñosas y cactus en el área de estudio.**

Contributor	Partial contributions to inertia for the column points	
	Dim1	Dim2
Agave	0.0052	0.0001
Opuntia	0.0004	0.0001
Mesquite	0.3981	0.0021
Yucca	0.2926	0.2131
Acacia	0.0877	0.1759
Juniper	0.1584	0.4195
Agave-Scale Insect	0.0536	0.1822
Agave-Stalk Width	0.0041	0.0070

shrub land; middle and steep slope; northeast and northwest aspect and low, middle and high elevation) were used according to their availability ($p \leq 0.05$). The average soil cover at nesting sites were grasses (27.5 %), bare soil (24.5 %), rock (20.2 %), herbs (20.2 %) and shrub (7.6 %).

The density of nests in the disturbance level A was 6.8 nests ha^{-1} , 11.9 nests ha^{-1} at level B and 1.19 nests ha^{-1} level C. The overall average nest density for the study site was 6.06 ant nests ha^{-1} ($\alpha=0.05$).

The occurrence of the escamolera ant in the ejido Pocitos, Charcas, San Luis Potosí, was significantly related to agave stalk width, agave infestations with scale insects, woody plants-cacti-agave density, ground cover (bare soil) and slope of the terrain (six of the 14 variables studied). The positive association of ants with woody plants and cacti (i.e., mesquites, yuccas, junipers and prickly pears) is probably because these plants are important food sources, especially their floral secretions (Miller, 2007).

Specifically, there was a significant association of the ant with increasing agave densities and stalk widths (1298 agaves vs. 433 agaves ha^{-1} at used and unused sites, respectively). This plant is commonly used by the ants for nesting (49 of 54 nests recorded in this study were associated with the agave). Ant nests are commonly found at the base of the agave at a depth that ranges from 15 to 120 cm), most likely because agaves function as thermal cover and foraging areas (e.g., the ant foraging trails are often spread among the agaves). The ant probably seeks

significativas en las frecuencias observadas y esperadas para las variables de tipo de vegetación, pendiente del terreno, dirección de la pendiente y elevación (Cuadro 6). Los intervalos de confianza de Bonferroni (Byers *et al.*, 1984) indicaron que la hormiga mostró una preferencia ($p \leq 0.05$) por el terreno plano y pendientes hacia el suroeste. En contraste, evitó ($p \leq 0.05$) tierras con matorral micrófilo, terreno moderadamente plano, pendientes hacia el sureste y terrenos muy bajos (Cuadro 6). Los otros componentes del hábitat (tierras con matorral rosetófilo y crasicaule; pendiente media y pronunciada; dirección de la pendiente noreste y noroeste y elevación baja, media y alta) se usaron con base en su disponibilidad ($p \leq 0.05$). La cobertura del suelo promedio en los sitios con nidos fue de pastos (27.5 %), suelo desnudo (24.5 %), roca (20.2 %), hierbas (20.2 %) y matorral (7.6 %).

La densidad de los nidos en el nivel A de perturbación fue 6.8 nidos ha^{-1} , 11.9 nidos ha^{-1} en el nivel B y 1.19 nidos ha^{-1} en el nivel C. El promedio general de densidad de nidos para el sitio de estudio fue 6.06 nidos de hormiga ha^{-1} ($\alpha=0.05$).

La presencia de la hormiga escamolera en el ejido Pocitos, Charcas, San Luis Potosí, estuvo relacionada significativamente con el ancho del tallo del agave, las infestaciones del agave con insectos escama, la densidad de plantas leñosas-cactus-agave, la cobertura del

Table 5. Statistical values about the variables of correspondence analysis for the presence of the escamolera ant considering woody plants and cacti in the ejido Pocitos, municipality of Charcas, San Luis Potosí.**Cuadro 5. Valores estadísticos del análisis de variables de correspondencia para la presencia de la hormiga escamolera, considerando plantas leñosas y cactus en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.**

Singular value	Principal inertia	Chi-square	Percent	Cumulative percent
0.45747	0.20928	92.501	27.39	27.39
0.39972	0.15977	70.620	20.91	48.31
0.38369	0.14721	65.069	19.27	67.58
0.32045	0.10269	45.389	13.44	81.02
0.30009	0.09005	39.803	11.79	92.80
0.20088	0.04035	17.835	5.28	98.09
0.12093	0.01462	6.464	1.91	100.00
Total	0.76399	337.681	100.00	

Table 6. Habitat variables, expected observed use and simultaneous confidence intervals of Bonferroni for escamolera ants in the ejido Pocitos, municipality of Charcas, San Luis Potosí, México.**Cuadro 6. Variables del hábitat, uso observado, esperado e intervalos de confianza simultáneos de Bonferroni para hormigas escamoleras en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.**

Variable	Available area (ha)	Expected use ($E_i = np_{io}$)	Observed use (O_i)	Expected proportion (p_{io})	Observed proportion ($p_i = O_i/n$)	Bonferroni intervals ($p \leq 0.05$)	Use
Type of vegetation							
Rosetophyllous shrub land	2491.5	26.2	38	0.484	0.704	$0.555 \leq P_1 \leq 0.852$	UA
Microphyllous shrub land	2409.5	25.3	10	0.468	0.185	$0.058 \leq P_2 \leq 0.311$	A
Crasicaule shrub land	243.7	2.558	6	0.047	0.111	$0.008 \leq P_3 \leq 0.213$	UA
$X^2 = 29.0$, d.f. = 2, $p < 4.922 \text{ EXP}^{-07}$							
Slope (%)							
Flat	347.1	2.9	12	0.054	0.222	$0.080 \leq P_1 \leq 0.363$	S
Moderately flat	5489.5	46.2	33	0.854	0.611	$0.445 \leq P_2 \leq 0.776$	A
Middle	229.9	1.9	8	0.035	0.148	$0.027 \leq P_3 \leq 0.268$	UA
Steep	355.2	2.98	1	0.055	0.019	$-0.027 \leq P_4 \leq 0.064$	UA
$X^2 = 20.6$, d.f. = 3, $p < 0.0001$							
Aspect							
Northeast	729.6	6.1	5	0.113	0.093	$-0.005 \leq P_1 \leq 0.191$	UA
Southeast	403.1	3.4	0	0.063	0	$0 \leq P_2 \leq 0$	A
Southwest	1131.0	9.5	10	0.176	0.185	$0.053 \leq P_3 \leq 0.317$	S
Northwest	4158.0	34.9	39	0.647	0.722	$0.569 \leq P_4 \leq 0.874$	UA
$X^2 = 0.69$, d.f. = 3, $p < 0.8733$							
Altitude (m)							
Very low	3093.7	26.0	5	0.481	0.092	$-0.001 \leq P_1 \leq 0.187$	A
Low	1947.6	16.4	16	0.303	0.296	$0.147 \leq P_2 \leq 0.445$	UA
Middle	896.4	7.5	31	0.139	0.574	$0.412 \leq P_3 \leq 0.735$	UA
High	483.9	4.06	2	0.075	0.037	$-0.024 \leq P_4 \leq 0.098$	UA
$X^2 = 108.232$, d.f. = 3, $p < 7.8147 \text{ EXP}^{-23}$							

S: Selected; UA: Used according to their availability; A: Avoided ♦ S: Seleccionado; UA: Usado según su disponibilidad; A: Evitado.

agaves infested with scale insects (*Acutaspis* sp) because they feed on their secretions (trophobiosis) throughout the year (Velasco, 2007). We found that 61 % of the agaves around the nests were infested with scale insects. The association of escamoles with agaves is common (Mora-López *et al.*, 2011).

Liometopum apiculatum M. is omnivorous (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013). Velasco *et al.* (2007) reported that ant consume insect pupae, crustaceans, annelids, mollusks, dead vertebrates, animal droppings and floral nectar of *Opuntia* spp., common species in the study area. In this regard, Miller (2007) notes that the ant has a mutualistic association with cardenche (*Opuntia imbricata*; imbricate prickly pear), and aggressively defends the plant from herbivores and seed predators. Ants are an important component of arid ecosystems

suelo (suelo desnudo) y la pendiente del terreno (seis de las 14 variables estudiadas). La asociación positiva de hormigas con plantas leñosas y cactus (es decir, mezquites, yucas, juníperos y nopales) probablemente es porque estas plantas son fuentes importantes de alimento, especialmente sus secreciones florales (Miller, 2007).

Específicamente, hubo una asociación significativa de la hormiga con mayores densidades de agave y anchos de sus tallos (1298 agaves *vs.* 433 agaves ha^{-1} en sitios usados y no usados, respectivamente). Esta planta es utilizada comúnmente por las hormigas para hacer sus nidos, y 49 de 54 nidos registrados en este estudio se asociaron con el agave. Los nidos de hormigas se encuentran en la base del agave a una profundidad entre 15 y 120 cm, probablemente porque los agaves funcionan como cubiertas térmicas y

and constitute a significant portion of the animal biomass, acting as ecosystem engineers (Jones *et al.*, 1994; Folgarait, 1998 López-Riquelme and Ramón, 2010), they are able to modify environmental conditions to create suitable microhabitats (Hithford *et al.*, 2008), increase fertility and soil quality, and control arthropod populations (Amador and Görres, 2007; López-Riquelme and Ramón, 2010). They can also be indicators of ecosystem changes and used to rehabilitate logging and grazing areas (Andersen and Majer, 2004).

The logistic regression analysis identified the width of the agave and higher plants to be important components of the habitat of the ant (Table 3). Similarly, the correspondence analysis indicated that agave, agave-scaled insect, agave-width as well as higher plants (opuntia, mesquite, yucca, acacia and juniper) contributed with 48.31% of the variation (Figure 2, Table 4, 5). More specifically, the plants that more contributed to this variation were mesquite, yucca and juniper (Table 4). These plants offer the escamolera ant, as well as other ant species, vegetation conditions, structure and protection for their foraging activities (Wisdom and Whitford, 1981; Bestelmeyer and Schooley, 1999; Retana and Cerdá, 2000). Also, the vegetation structure can influence the distribution of insect food for *Liometopum apiculatum* Mayr and selection of nesting sites (Johnson, 2000; Hoey-Chamberleyn *et al.*, 2013).

In this study, ant preferred southwest-facing slopes as nest sites as did ants reported by Ramos-Elorduy *et al.* (1986) in Michoacan, Mexico. This study differs from those reported by Eastlake and Chew (1980), who found that in Arizona, escamolera ants preferred north and west-facing slopes to nest. However, it is possible that southwest-facing slopes in central Mexico provide better environmental conditions (temperature and atmospheric humidity) for nesting.

In addition, the ant avoided very low elevation habitats (1940-2050 masl). This behavior is possibly due to agricultural activities, which occur at lower elevations. Also the surrounding areas are dominated by creosote (*Larrea tridentata* (D.C.) Cobille), a plant species poorly associated with the ant. Castro *et al.* (2008), in a study of ants in Peru, also emphasized that the species decreases with elevation.

The significant association of the escamolera ant in central Mexico with the agave (*Agave salmiana*

áreas de recolección (por ejemplo, a menudo se encuentran caminos de recolección de las hormigas entre los agaves). Las hormigas probablemente buscan agaves infestados con insectos escama (*Acutaspis* sp) porque se alimentan de sus secreciones (trofobiosis) durante el año (Velasco, 2007). De los agaves alrededor de los nidos, 61 % estaban infestados con insectos escama. La asociación de los escamoles con los agaves es común (Mora-López, 2011).

Liometopum apiculatum M. es omnívora (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013). Velasco *et al.* (2007) reportaron que las hormigas consumen pupas de insectos, crustáceos, anélidos, moluscos y vertebrados muertos, excrementos de animales y néctar floral de *Opuntia* spp., especies comunes en el área de estudio. En este sentido, Miller (2007) señala que la hormiga tiene una asociación mutualista con el cardenche (*Opuntia imbricata*), y defiende agresivamente la planta de los herbívoros y depredadores de semillas. Las hormigas son un componente importante de ecosistemas áridos y constituyen una porción significativa de la biomasa animal, actuando como ingenieros del ecosistema (Jones *et al.*, 1994; Folgarait, 1998 López-Riquelme y Ramón, 2010), pueden modificar condiciones ambientales para crear micro hábitats adecuados (Hithford *et al.*, 2008), incrementar la fertilidad y calidad del suelo, y controlar las poblaciones de artrópodos (Amador y Görres, 2007; López-Riquelme y Ramón, 2010). Ellas también pueden ser indicadores de cambios en el ecosistema y utilizadas para rehabilitar áreas de tala y pastoreo (Andersen y Majer, 2004).

El análisis de regresión logística identificó el ancho del agave y las plantas superiores como componentes importantes del hábitat de la hormiga (Cuadro 3). De manera similar, el análisis de correspondencia indicó que las variables agave, agave-insecto escama, ancho de agave y plantas superiores (nopal, mezquite, yuca, huizache y tásate) contribuyeron con 48.31 % de la variación (Figura 2, Cuadro 4, 5). Específicamente, las plantas que contribuyeron más a esta variación fueron mezquite, yuca y tásate (Cuadro 4). Estas plantas ofrecen a la hormiga escamolera, así como a otras especies de hormiga, las condiciones de vegetación, estructura y protección para sus actividades de recolección (Wisdom y Whitford, 1981; Bestelmeyer y Schooley, 1999; Retana y Cerdá, 2000). Además, la estructura de la vegetación puede influir en la distribución de alimento proveniente

Otto Ex Salm ssp. *crassispina* (Trel) Gentry) indicates that efforts to conserve and manage this insect should focus on sustainably managing this habitat. However, management is complicated because local farmers use maguey plants for other commercial uses such as mezcal manufacture (García-Herrera *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2012), forage production, and for white and red worm production and extraction (Esparza-Frausto *et al.*, 2008; García-Herrera *et al.*, 2010). Their management is further complicated because of mismanaged rangelands, the use of acacias and mesquites as firewood, while recurrent droughts in recent years in the center of Mexico aggravate these problems (Galindo and García, 1986; Ruiz and Febles, 2004; Andrade *et al.*, 2009).

The probability of finding the escamolera ant decreased with increasing bare soil. However, the ant in the study area occurs under poor vegetation cover conditions (the amount of coverage of bare soil and rock was 44.7 %) resulting from overgrazing (Herrera *et al.*, 2011). Consequently, these habitat conditions have a negative effect on the production of escamoles. In the study area, there was an average production of 0.185 ± 0.137 kg per nest ($n=54$ nests) during the first harvest of 2012. This was less than that reported for San Juan Teotihuacan, state of Mexico (Ambrozio-Arzate *et al.*, 2010), which depending on habitat conditions, the production varied from 0.4 to 0.8 kg/nest. In addition, Ramos-Elorduy and Levieux (1992) reported that the ant may produce between 3-3.6 kg of escamoles, while in Michoacan the ant produces 3.0 kg per nest in the first harvest and between 1.5-2 kg in the second (Ramos-Elorduy *et al.*, 1986).

The ground cover is an important habitat component for the ant, especially where it requires protection from high temperatures. Therefore, the coverage offered by grasses, herbaceous plants, shrubs, woody plants and cacti is important for the species. Although the proportion of bare soil and rock was high (44.7 %), it is likely that the ants in the study area can survive with poor soil coverage conditions due to its ability to build galleries (Ramos-Elorduy *et al.*, 1986) and tunnels (Espinoza and Santamarina, 2010). Also during the day, while foraging, they are able to move underneath woody debris present on the surface of the soil. In addition, the species is diurnal and nocturnal. Shapley (1920) and Espinoza and Santamarina (2010) reported that ants show

de insectos para *Liometopum apiculatum* Mayr y en la selección de sitios para anidación (Johnson, 2000; Hoey-Chamberleyn *et al.*, 2013).

En este estudio, las hormigas prefirieron pendientes hacia el suroeste para establecer sitios de anidación, así como lo hicieron las hormigas reportadas por Ramos-Elorduy *et al.* (1986) en Michoacán, México. Este estudio difiere de lo reportado por Eastlake y Chew (1980), quienes encontraron que en Arizona, las hormigas escamolas prefirieron las pendientes hacia el norte y el oeste para anidar. Sin embargo, es posible que las pendientes hacia el sur en el centro de México proporcionen mejores condiciones ambientales (temperatura y humedad atmosférica) para la anidación.

La hormiga también evitó hábitats de muy baja altitud (1940-2050 msnm). Este comportamiento posiblemente se debe a actividades agrícolas que ocurren en elevaciones más bajas. Además, las áreas alrededor están dominadas por creosote (*Larrea tridentata* (D.C.) Coville), una especie vegetal poco asociada con la hormiga. Castro *et al.* (2008), en un estudio de hormigas en Perú, enfatizaron que las especies disminuyen con la elevación.

La asociación significativa de la hormiga escamolera en el centro de México con el agave (*Agave salmiana* Otto Ex Salm ssp. *crassispina* (Trel) Gentry) indica que los esfuerzos para conservar y manejar este insecto deben enfocarse en el manejo sustentable de este hábitat. Sin embargo, el manejo es complicado porque los agricultores locales utilizan las plantas de maguey para otros usos comerciales como la elaboración de mezcal (García-Herrera *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2012), producción de forraje, y para la producción y extracción de gusanos blancos y rojos (Esparza-Frausto *et al.*, 2008; García-Herrera *et al.*, 2010). Su manejo se complica aún más por las tierras de pastoreo mal manejadas, el uso de huizaches y mezquites como leña, a la vez que las sequías recurrentes en años recientes en el centro de México agravan estos problemas (Galindo y García, 1986; Ruiz y Febles, 2004; Andrade *et al.*, 2009).

La probabilidad de encontrar a la hormiga escamolera disminuyó al aumentar el suelo desnudo. Sin embargo, la hormiga en el área de estudio ocurre bajo condiciones de poca cobertura vegetal (la cantidad de cobertura de suelo desnudo y roca fue de 44.7 %), que resultan del pastoreo excesivo (Herrera *et al.*, 2011). En consecuencia, estas condiciones del

special excavation and transport strategies since they use their antennae to evaluate the mobility of soil particles, remove particles with mandibles and legs, transport them and return to the tunnel face.

In this study, the ant uses habitat components differentially, showing higher occurrence in certain combinations of them. Also, we recorded the highest ant-nest densities at the disturbance levels B and A with an overall average of 6.06 nests ha^{-1} . In San Juan Teotihuacan, depending on habitat conditions, the density of ant nests ranged from 8 to 10 nests ha^{-1} (Ambrosio-Arzate *et al.*, 2010).

CONCLUSIONS

There was a very noticeable association between the presence of *Liometopum apiculatum* Mayr and agaves (*Agave salmiana* Otto Ex Salm ssp. *crassispina* (Trel) Gentry), and density of woody plants and cacti. The ant did not use habitat components according to their availability, avoided bare soil, land with low elevation and selected the slopes with southwest exposure. Nest density was higher in the ecosystem moderately (B) and slightly disturbed (A). Escamolera ant larvae can be an economically viable resource, but are being extracted unsustainably. Major challenges include habitat loss, degradation and fragmentation as a result of mismanaged landscapes. Rural extension education programs need to be instituted to develop management schemes to ensure the sustainable use of this species. The results obtained in this research are a baseline for future research and management of the species in the central region of Mexico and their sustainable use by rural communities.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank collectors of "escamoles" of the ejido Pocitos, Charcas San Luis Potosí, for giving us permission for the study, and supporting the field work.

LITERATURE CITED

- Amador, J. A., and J. H. Gorres. 2007. Microbiological characterization of the structures built by earthworms and ants in an agricultural field. *Soil Biol. Biochem.* 39: 2070-2077.
- Ambrosio-Arzate, G. A., R. Nieto-Hernández, C., S. Aguilar-Medel, y A. Espinoza-Ortega. 2010. Los insectos comestibles: Un recurso para el desarrollo local en el Centro de México. In: *Memorias de Eur. Assoc. Agric. Econ.* 11 6 th Seminar, Parma, Italy. pp: 6

hábitat tienen un efecto negativo en la producción de escamoles. En el área de estudio hubo una producción promedio de 0.185 ± 0.137 kg por nido ($n=54$ nidos) durante la primera cosecha de 2012. Esto fue menor a lo reportado para San Juan Teotihuacán, Estado de México (Ambrosio-Arzate *et al.*, 2010), donde la producción varió de 0.4 a 0.8 kg^{-1} nido, dependiendo de las condiciones del hábitat. Además, Ramos-Elorduy y Levieux (1992) reportaron que la hormiga produce 3 a 3.6 kg de escamoles, mientras que en Michoacán la hormiga produce 3.0 kg por nido en la primera cosecha y 1.5 a 2 kg en la segunda (Ramos-Elorduy *et al.*, 1986).

La cobertura del suelo es un componente importante del hábitat para la hormiga, especialmente donde requiere protección de temperaturas altas. Por lo tanto, la cobertura ofrecida por pastos, plantas herbáceas, matorral, plantas leñosas y cactus es importante para la especie. Aunque la proporción de suelo desnudo y roca fue alto (44.7 %), es probable que las hormigas en el área de estudio puedan sobrevivir con malas condiciones de cobertura del suelo debido a su habilidad para construir galerías (Ramos-Elorduy *et al.*, 1986) y túneles (Espinoza and Santamarina, 2010). También durante el día, mientras recolectan, pueden moverse bajo escombros leñosos presentes en la superficie del suelo. Además, la especie es diurna y nocturna. Shapley (1920) y Espinoza y Santamarina (2010) reportaron que las hormigas muestran estrategias especiales de excavación y transportación ya que usan sus antenas para evaluar la movilidad de las partículas del suelo, y sus mandíbulas y piernas para remover partículas, transportarlas y regresar a la cara del túnel.

En este estudio la hormiga utilizó los componentes del hábitat de manera diferente, mostrando una mayor ocurrencia en ciertas combinaciones de los mismos. Además, se registraron las densidades más altas de nidos de hormiga en los niveles de perturbación B y A, con un promedio general de 6.06 nidos ha^{-1} . En San Juan Teotihuacán, dependiendo de las condiciones del hábitat, la densidad de nidos de hormigas osciló de 8 a 10 nidos ha^{-1} (Ambrosio-Arzate *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Hubo una asociación muy notoria entre la presencia de *Liometopum apiculatum* Mayr y agaves (*Agave salmiana* Otto Ex Salm ssp. *Crassispina* (Trel)

- Andersen, A. N., and J. D. Majer. 2004. Ants show the way down under: invertebrates as bio indicators in land management. *Frontiers Ecol. Environ.* 2 (6): 291-298.
- Andrade L., E., M. Espinoza R., y A. Romero D. 2009. Acciones de lucha contra la desertificación en ambientes semiáridos en el noroeste de Tamaulipas, Mexico. *Papeles de Geografía* 49-50: 15-26.
- Bestelmeyer, B., R. Schooley. 1999. The ants of the southern Sonoran desert: community structure and the role of trees. *Biodiversity Conserv.* 8: 643-657.
- Beyer, H. L. 2004. Hawth's Analysis Tool for ArcGis. <http://www.spatialecology.com/htools> (Accessed: May 2012).
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, and J. L. Laake. 1993. Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. Chapman and Hall, London. 446 p.
- Byers, C. R., R. K. Steinhosrt, and P. R. Krausman. 1984. Clarification of a technique for analysis of utilization-availability data. *J. Wildlife Manage.* 48: 1050-1052.
- Canfield, R. H. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. *J. For.* 34: 388-394.
- Castro S., D., C. Vergara C., y C. Arellano U. 2008. Distribución de la riqueza, composición taxonómica y grupos funcionales de hormigas del suelo a lo largo de un gradiente altitudinal en el refugio de vida silvestre Laquipampa, Lambayeque-Perú. *Ecol. Apl.* 7: 1-2.
- Chust, G., J. L. Pretus, D. Ducrot, A. Bedòs and L. Deharveng. 2003a. Response of soil fauna to landscape heterogeneity: Determining optimal scales for biodiversity modeling. *Conserv. Biol.* 17: 1712-1723.
- Chust, G., J. L. Pretus, D. Ducrot, A. Bedòs, and L. Deharveng. 2003b. Identification of landscape units from an insect perspective. *Ecography* 26: 257-268.
- De Luna-Valadez, B., F. J. Macías-Rodríguez, G. Esparza-Frausto, E. León-Esparza, L. A. Tarango-Arámbula, y S. de J. Méndez-Gallegos, 2013. Recolección de insectos comestibles en Pinos Zacatecas: Descripción y análisis de la actividad. *Agroproductividad* 6 (5): 35-43.
- Del Toro, I., J. Pacheco A., and W. P. Mackay. 2009. Revision of the Ant Genus *Liometopum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 52: 295-369.
- Dinwiddie, M. L., R. W. Jones., P. Roitman-Genoud, L. A. Tarango-Arámbula y G. X. Malda-Barrera, 2013. Estudio entoentomológico de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en dos localidades en el estado de Querétaro. *Agroproductividad* 6 (5): 27-34.
- Dos Santos L., A., y F. Mora. 2007. Análisis experimental de tratamientos floculantes de residuos orgánicos derivados de la producción porcina. *Ciencia Inv. Agr.* 34(1): 49-56.
- Eastlake, C. A., and M. R. Chew. 1980. Body size as a determinant of small-scale distributions of ants in Evergreen Woodland southeastern Arizona. *Insectes Sociaux* 3: 189-202.
- Esparza-Frausto, G., F. Macías-Rodríguez, M. Martínez-Salvador, M. Jiménez-Guevara y S. Méndez-Gallegos, 2008. Insectos comestibles asociados a las magueyerías en el Ejido Tolosa, Pinos, Zacatecas, Mexico. *Agrociencia* 42: 243-252.
- Espinoza, D. N., and J. C. Santamarina. 2010. Ant tunneling-a granular media perspective. *Granular Matter* 12: 607-616.
- Folgarait, P. J. 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodivers. Conserv.* 7: 1221-1244.
- Gentry, y la densidad de plantas leñosas y cactus. La hormiga no utilizó los componentes del hábitat de acuerdo con su disponibilidad, evitó el suelo desnudo, la tierra con poca elevación y seleccionó las pendientes con exposición hacia el suroeste. La densidad de nidos fue mayor en los ecosistemas con moderada (B) y poca (A) perturbación. Las larvas de la hormiga escamolera pueden ser un recurso económicamente viable, pero están siendo extraídas de manera no sustentable. Los desafíos importantes incluyen pérdida de hábitat, degradación y fragmentación como resultado de paisajes mal manejados. Los resultados obtenidos en esta investigación son un punto de partida para el manejo de la especie en la región central de México y su uso sostenible por las comunidades rurales.
- Fin de la versión en Español—
- *---
- Galindo, A., S., and M. García E. 1986. The uses of Mesquite (*Prosopis* spp.) in the highlands of San Luis Potosí, Mexico. *For. Ecol. Manag.* 16: 49-56.
- García-Herrera, J., S. Méndez-Gallegos y D. Talavera-Magaña, 2010. El género *agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *RESPYN* 5: 109-129.
- Giménez A., J., y O. González C. 2011. Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios. *Acta Bot. Mex.* 94: 91-123.
- González C., O., J. Giménez A., J. García P., y J. R. Aguirre R. 2007. Flórula vascular de la Sierra de Catorce y territorios adyacentes. San Luis Potosí, Mexico. *Acta Bot. Mex.* 78: 1-38.
- Guisan, A., and N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution mode in ecology. *Ecol. Model.* 135: 147-186.
- Herrera C., J., Y. Herrera A., F. O. Carrete C., N. Almaraz A., N. Naranjo J., y F. J. González, G. 2011. Cambio en la población de gramíneas en un pastizal abierto bajo sistema de pastoreo continuo en el norte de Mexico. *Interciencia* 36 (4): 300-305.
- Johnson, R. A., 2000. Habitat segregation based on soil texture and body size in the seed-harvester ants *Pogonomyrmex rugosus* and *P. barbatus*. *Ecol. Entomol.* 25: 403-412.
- Jones, C. G., J. H. Lawton, and M. Shachak. 1994. Organisms and ecosystem engineers. *Oikos* 69(3): 69-386.
- Hithford, W. G., G. Barnes, and Y. Steinberger. 2008. Effects of three species of Chihuahuan Desert ants on annual plants and soil properties. *J. Arid Environ.* 72: 392-400.
- Hoey-Chamberlain, R., M. K. Rust, and J. H. Klotz. 2013. A review of the biology, ecology and behavior of velvety tree ants of North America. *Sociobiology* 60(1): 1-10.

- Lopez-Riquelme, G. O. y F. Ramón, 2010. El mundo feliz de las hormigas. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 13(1): 35-48.
- Martínez, S. M., R. Mata-González, N. Morales, C., and R. Valdez-Cepeda 2012. *Agave salmiana* plant communities in central Mexico as affected by commercial use. *Environ. Manage.* 49: 55-63.
- Miller, T. E. X. 2007. Does having multiple partners weaken the benefits of facultative mutualism? A test with cacti and cactus-tending ants. *Oikos* 116: 500-512.
- Mora-López, J. L., J. A. Reyes-Agüero, J. L. Flores-Flores, C. R. Peña-Valdivia, y J. R. Aguirre-Rivera. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección *Salmianac* del género *Agave*. *Agrociencia* 45: 465-477.
- Neu, C. W., C. R. Byers, and J. M. Peek. 1974. A technique for analysis of utilization-availability data. *J. Wildlife Manage.* 38: 541-545.
- Otavo, S. A., A. Parrado-Rosselli, y J. N. Ari. 2013. Superfamilia Scarabaeoidea (Insecta: Coleoptera) como elemento bioindicador de perturbación antropogénica en un parque nacional amazónico. *Rev. Biol. Trop.* 61 (2): 735-752.
- Ramos, R. B., B. Quintero S., J. Ramos-Elorduy, J. M. Pino M., S. C. Ángeles C., Á García P., y V. D. Barrera G. 2013. Análisis químico y nutricional de tres insectos comestibles de interés comercial en la zona arqueológica del municipio de San Juan Teotihuacán y en Otumba, en el Estado de Mexico. *Interciencia* 37 (12): 914-920.
- Ramos-Elorduy, J., B. Délage D., A. Flores R., E. Sandoval C., y S. Cuevas C. 1986. Estructura del nido *Liometopum occidentale* Var. *Luctuosum* manejo y cuidados de estos en los núcleos rurales de Mexico de las especies productoras de escamoles (*L. apiculatum* M. y *L. occidentale* Var. *Luctuosum* W.) (Hymenoptera, Formicidae). *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. Méx., Ser. Zool.* 2: 333-342.
- Ramos-Elorduy, J., et J. Levieux. 1992. Détermination des caractéristiques spatiales des aires de prospection de plusieurs sociétés de fourmis mexicanes *Liometopum apiculatum* Mayr et *L. occidentale* Wheeler (Hymenoptera Formicidae, Dolichoderinae) a l'aide de radio-isotopes. *Bull. Soc. Zool. Fr.* 117: 21-30.
- Ramos-Elorduy, J., y J. M. Pino M. 2001. Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de Mexico. *J. Mex. Chem. Soc.* 2: 66-76.
- Ramos-Elorduy, J., J. M. Pino M., y M. Conconi. 2006. Ausencia de una regulación y normalización de la explotación y comercialización de insectos comestibles en Mexico. *Folia Entomol. Mex.* 45(3): 291-318.
- Retana, J., and X. Cerdá. 2000. Patterns of diversity and composition of Mediterranean ground ant communities tracking spatial and temporal variability in the thermal environment. *Oecologia* 123: 436-444.
- Ruíz, T., y G. Febles. 2004. La desertificación y sequía en el mundo. *Avances en Inv. Agropec.* 8 (2): 3-16.
- Rzedowski, J. 1965. Vegetación del estado de San Luis Potosí. *Acta Científica Potosina* 6 (1-2): 1-291.
- Rzedowski, J. 1978. La Vegetación de Mexico. Ed. Limusa. Mexico, D.F. 432 p.
- SAGARPA Capas en formatos shape de los ejidos beneficiados por PROCAMPO. http://www.aserca.gob.mx/artman/publish/article_934.asp (Accessed: May 2012).
- SAS Institute. 2007. The JMP system, for Windows. Release 7.0. SAS Inst., Cary, NC.
- Schreuder, H., T. Gregoire, and G. Wood, 1993. Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory. John Wiley and Sons. New York. 446 p.
- Shapley, H. 1920. Thermokinetics of *Liometopum apiculatum* Mayr. *Proc. National Academy Sci.* 6: 204-211.
- Tarango-Arámbula, L. 2012. Los escamoles y su producción en el Altiplano Potosino-Zacatecano. *RESPYN* 4: 139-144.
- Velasco C., C., M. C. Corona V., y R. Peña M. 2007. *Liometopum apiculatum* (Formicidae: Dolichoderinae) y su relación trofobiotica con *Hemiptera sternorrhyncha* en Tlaxco, Tlaxcala, Mexico. *Acta Zool. Mex.* 23: 2:31-42.
- Wisdom, W. A., and W. G. Whitford. 1981. Effects of vegetation change on ant communities of arid rangelands. *Environ. Entomol.* 10: 893-89.